



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 75238

(13) C2

(51) МПК (2006)  
G01N 33/22МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

## (54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЧУТЛИВОСТІ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН ДО ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

1

(21) 20040604470

(22) 08.06.2004

(24) 15.03.2006

(46) 15.03.2006, Бюл. № 3, 2006 р.

(72) Петренко Олександр Васильович

(73) Петренко Олександр Васильович

(56) SU 211146, G01N33/22, C06B21/00, 1967

SU 158727, G01N3/56, G01N3/14, G01N25/50, 1963

ГОСТ 4545-88. Вещества взрывчатые бризантные.

Методы определения характеристик чувствительности к удару.

(57) 1. Спосіб визначення характеристик чутливості вибухових речовин до динамічних навантажень, що включає розміщення вибухової речовини між торцями двох роликів, навантаження постійним тиском, прикладання до неї динамічного навантаження, поступове збільшення його величини та фіксацію величини динамічного навантаження, котре збуджує вибух, який **відрізняється** тим, що динамічне навантаження здійснюють за гармонічним законом при ряді фіксованих частот, на кожній із яких підвищують амплітуду динамічного навантаження до моменту вибуху, фіксують величину цієї амплітуди та визначають динамічну частотну характеристику системи "ролик - вибухова речовина - ролик" як залежність амплітуди динамічного навантаження, котре збуджує вибух, від частоти навантаження.

2

2. Спосіб за п.1, який **відрізняється** тим, що за мінімальною величиною амплітуди нормального динамічного навантаження, котре збуджує вибух, на динамічній частотній характеристиці системи "ролик - вибухова речовина - ролик" визначають частоту власних зсувних коливань цієї системи.

3. Спосіб за п.2, який **відрізняється** тим, що розраховують динамічну тангенціальну жорсткість вибухової речовини за формулою

$$C = \frac{M_1 \cdot M_2 \cdot \omega_B^2}{M_1 + M_2},$$

де  $M_1$  та  $M_2$  – приведені маси роликів, $\omega_B$  - частота власних зсувних коливань системи "ролик - вибухова речовина - ролик".

Винахід відноситься до методів дослідження вибухових речовин /ВР/ і може застосовуватися у випробуваннях ВР на небезпечність при механічних діях.

Відомий спосіб визначення чутливості ВР при ударі на копрі, згідне з яким ВР розміщують між торцями двох роликів, скидають на них вантаж, поступове збільшують висоту скидання, вантажу, фіксують висоту скидання, при якій відбувається вибух, і по цій величині роблять висновок про ступінь чутливості ВР до удару. Окрім цього, визначають змінення в часі тиску при ударі за допомогою тензометричних датчиків і осцилографа, на осцилограмах спостерігають процес видавлювання ВР із простору між торцями роликів та визначають опір цьому видавлюванню, дід якого залежить збудження: вибуху [1].

Спосіб випробувань ВР на копрі має принципові недоліки:

- умови випробувань не в повній мірі відповідають характеру механічних діях при обробці та застосуванні ВР, зокрема відсутнє навантаження постійним тиском і циклічною складенню,

- результати випробувань носять якісний характер, що обмежує можливість їх перенесу в область технології та експлуатації ВР. Відомий також спосіб випробувань на приборі Боудена - Козлова для визначення чутливості ВР до тертя [2]. При таких випробуваннях ВР затискають між тертями двох роликів: закріпленого 1 рухомого. При горизонтальному ударі по боковій поверхні рухомого роли виникає вибух. Тут тертя має місце незалежно від текучості ВР, ще суттєво відрізняє цей метод від випробувань на копрі.

Такий метод краще характеризує практичну небезпечність ВР при механічних діях, але тут також відсутні вібраційні навантаження, які мають місце в технологічних процесах обробки ВР та при

(13) C2

(11) 75238

(19) UA

застосуванні ВР, а результати методу мають диве якісний характер.

Найбільш близьким до пропонованого о метод визначення нижньої межі чутливості де удару твердих ВР до ГОСТ 4545 - 88 [3]. Згідно цього способу вибухову речовину розміщують між торцями двох роликів, підпресовують, прикладають до неї динамічно навантаження, поступово збільшують його величину та фіксують величину динамічного навантаження, що збуджує вибух.

Достовірність визначення характеристик чутливості ВР до динамічних навантажень за цим способом недостатня, бо при випробуванні не враховуються циклічні навантаження ВР, які є дуже загрозливими і неминуче виникають при обробці ВР /змішування, пресування, різання, шнекування/, транспортуванні /тряска/, зберігавнні /сейсмічні коливання/, утилізації та інших умовах.

Результати випробувань згідно цього способу дають лише умовну характеристику чутливості ВР, що обмежує можливість переносу результатів випробувань на методи практичної роботи в ВР.

В основу винаходу поставлено задачу створити спосіб визначення характеристик чутливості вибухових речовин до динамічних навантажень, згідно з яким збудження вибуху здійснюється циклічним навантаженням ВР в робочому діапазоні частот, що дозволяє підвищити достовірність способу наближення умов випробувань до умов обробки та експлуатації ВР, а також охарактеризувати найбільш небезпечні частоти навантаження ВР.

Технічний результат, якого можна одержати при упровадженні винаходу, полягає в підвищенні безпеки роботи з ВР завдяки можливості попередження загрозливих резонансів в вибухових речовинах.

Поставлена задача вирішується за рахунок того, що в способі визначення характеристик чутливості вибухових речовин де динамічних навантажень, згідно з яким вибухову речовину розміщують між торцями двох роликів, навантажують постійним тиском, прикладають до неї динамічне навантаження, поступово збільшують його величину та фіксують величину динамічного навантаження, котре збуджує вибух, динамічне навантаження здійснюють по гармонічному закону при ряді фіксованих частот, на кожній із яких підвищують амплітуду динамічного навантаження до моменту вибуху, фіксують величину цієї амплітуди та визначають динамічну частотну характеристику системи /ролик - вибухова речовина - ролик/, як залежність амплітуди динамічного навантаження, котре збуджує вибух, від частоти навантаження.

Таке виконання способу дозволяє одержати характеристику чутливості ВР до дії циклічних навантажень різних частот, що призводить до підвищення достовірності способу завдяки наближенню умов випробувань до умов обробки і застосування ВР.

У конкретних (формах виконання способу по мінімальній величині амплітуди нормального динамічного навантаження, що збуджує вибух, на динамічній частотній характеристиці системи /ролик - вибухова речовина - ролик/ можна визначити частоту власних зсувних коливань цієї систе-

ми, тобто позначити найбільш небезпечне для ВР динамічна діяння.

Окрім цього, заявляється можливість вирахувати динамічну тангентальну жорсткість вибухової речовини по формулі

$$C = \frac{M_1 \cdot M_2 \cdot \omega_B^2}{M_1 + M_2}, \text{ де}$$

$M_1$  та  $M_2$  - приведет маси роликів,

$\omega_B$  - частота власних зсувних коливань системи /ролик - ВР - ролик/.

Одержана величина  $C$  дозволяє перенести результати частотних випробувань ВР на процеси обробки і застосування вибухових речовин шляхом обчислення найбільш небезпечних частот навантаження технологічних машин і зарядів ВР.

Запропонований спосіб пояснюється на фіг.1 кресленням пристрою, що реалізує цей спосіб, на фіг.2 подано схему пристрою, а фіг.3 показує умови одержання динамічних частотних характеристик системи /ролик - ВР - ролик/, фіг.4 дає уявлення про методику частотних випробувань ВР. На Фіг.5 наведена типова динамічна частотна характеристика системи /ролик - ВР - ролик/.

Пристрій /фіг.1/ містив електродинамічний вібростенд GRW, на столику і якого жорстко закріплене ролик 2. В станину 3 вібростенда за допомогою гумових втулок 4 встановлено магнітний корпус 5 із сталюого литва. Магнітний корпус всередині оснащений обмоткою 6. Вібраційна система, окрім робочого столика 1, має ведучий стержень 7 та котушку 8. За допомогою двох нижніх 9 та двох верхніх 10 плоских пружин система ведеться у зазорі паралельно йому. Струм, що проходить через котушку 8, можна плавно змінювати по силі та частоті, таким чином, електродинамічна система силозбудження дозволяє плавно регулювати амплітуду і частоту навантаження. В центрі ролика 2 кучкою розміщують наважку ВР її /наприклад гексогена/, а зверху на неї за допомогою вантажа 12 натискають роликом 13. Ролик 13 жорстко з'єднаний з вантажем 12.

Ролики 2 та 13 мають можливість пересування у втульці 14, жорстко скріпленою з екраном 15, котрий спирається на кожух 16. Для вимірювання динамічних навантажень на ВР служать проволочні тензодатчики 17, наклеєні на шийку ролика 13. При цьому використовується підсилювач 18 /наприклад ТА-5/ та шлейфовий осцилограф /наприклад Н-700/. Тарировку датчиків 17 здійснюють шляхом дискретної зміни величини вантажа 12 при вимкненому вібраторі та при відсутності вибухової речовини 11.

На еквівалентній динамічній схемі пристрою /фіг.2/ введені такі позначення:

$m_1$  - маса коливального елемента,

$m_2$  - маса верхнього ролика,

$m_3$  - маса вантажа,

$C_1$  - жорсткість підвіски рухомої системи електродинамічного перетворювача,

$C_2$  - нормальна жорсткість вибухової речовини,

$C_3$  - жорсткість праного елемента /шийки/ силовимірювача,

$P_{\Pi}$  - постійна складова навантаження ВР,

$P \sin \omega t$  - збуджуюча сила,

$\omega$  - частота вимушених коливань,  
 $t$  - час.

Методика випробувань ВР на чутливість до механічних діянь полягає в нарощуванні амплітуди збурюючої сили  $P$  до моменту вибуху та фіксації величини амплітуди нормального динамічного навантаження вибухової речовини  $P_d$ , яке збуджує вибух, випробування повторюють при ряді (фіксованих частот навантаження  $\omega$  та визначають динамічну частотну характеристику системи /ролик - ВР - ролик/, як залежність  $P_d$  від  $\omega$ ).

При цьому треба мати впевненість, що амплітуда динамічної складової на силовимірювачі відповідає амплітуді циклічного навантаження ВР. Справа в тому, що при статичному навантаженні послідовно розміщені ВР та вимірювач навантажуються однаково, а помазанню вимірювача повністю відповідають величині навантаження вибухової речовини. При роботі пристрою в динамічному режимі зазначені величини /в загальному випадку/ не відповідають одна одній. Відносна похибка вимірювання амплітуди динамічного навантаження ВР становить:

$$E = \frac{P_{\text{ш}} - P_d}{P_d}, \text{ де}$$

$P_{\text{ш}}$  - амплітуда циклічного зусилля на пружно-му елементі /шійці/ силовимірювача безпосередньо перед вибухом,

$P_d$  - амплітуда нормального динамічного навантаження ВР, що збуджує вибух.

Зусилля, ще діють в дружних елементах коливальної системи, можна подати у вигляді добутку жорсткості відповідних елементів та їх абсолютної деформації:

$$P_{\text{ш}} = C_3 |a_2 - a_3|,$$

$$P_d = C_2 |a_1 - a_2|, \text{ де}$$

$a_1, a_2, a_3$  - вертикальні переміщення мас  $m_1, m_2, m_3$ .

Абсолютна деформація дружних елементів залежить від знака і амплітуди переміщень з'єднаних з ними зосереджених мас. Тому розрахункове визначення зусиль, що діють в пружних елементах коливальної системи, зводяться до визначення відповідних переміщень із системи диференціальних рівностей руху:

$$\begin{cases} m_1 \ddot{a}_1 + c_2 a_1 - c_2 a_2 + c_1 a_1 = P \cdot \sin \omega t, \\ m_2 \ddot{a}_2 + c_3 a_2 - c_2 a_1 + (c_3 a_2) \cdot a_2 = 0, \text{ де} \\ m_3 \ddot{a}_3 + c_3 a_3 - c_3 a_2 = 0, \end{cases}$$

$P$  - амплітуда зусилля, що розвивається збуджуючим пристроєм. Залежності для переміщень:

$$a_1 = \frac{P}{A} \{ m_2 m_3 \omega^4 - \omega^3 [ m_3 (c_3 + c_2) + m_2 c_3 ] + c_2 c_3 \} \sin \omega t$$

$$a_2 = \frac{P}{A} c_2 (c_3 - m_3 \omega^2) \cdot \sin \omega t,$$

$$a_3 = \frac{P}{A} c_1 c_2 \cdot \sin \omega t, \text{ де}$$

$$A = -\omega^6 m_1 m_2 m_3 + \omega^4 [ m_2 m_3 + (m_1 m_3 + m_2 m_3) + c_3 (m_1 m_2 + m_1 m_3) ] - \omega^2 [ m_1 c_2 c_3 + m_2 (c_1 c_3 + c_2 c_3) + m_3 (c_1 c_2 + c_2 c_3) ] + c_1 c_2 c_3$$

При сталому процесі динамічного навантаження випробувального стенда амплітудні значення зусиль:

$$P_{\text{ш}} = \left| \frac{C_3 P}{A} [ c_2 m_3 \omega^2 + c_2 c_1 - c_1 c_3 ] \right|,$$

$$P_d = \left| \frac{C_2 P}{A} [ m_3 m_2 \omega^4 - c_3 \omega^2 (m_3 - m_2) ] \right|,$$

Тоді відносна похибка вимірювання амплітуди  $P_d$  циклічної складової навантаження ВР, що збуджує вибух:

$$E = \frac{c_3^2 (c_2 - c_1) - c_2 m_2 \omega^2 (m_3 \omega^2 - c_3)}{c_2 \omega^2 [ m_2 m_3 \omega^2 - c_3 (m_2 + m_3) ]}$$

В розробленому пристрої, у зв'язку з малою жорсткістю  $C_1$ , можна прийняти  $C_2 - C_1 \approx C_2$ . Тоді

$$E = \frac{1}{1 + \frac{m_2}{c_3} \omega^2 - \frac{1}{1 - \frac{m_3}{c_3} \omega^2}} - 1.$$

Таким чином, величина похибки  $E$  не залежить від  $m_1$  та  $C_2$ .

При великих значеннях  $\frac{m_3}{c_3}$  та малих значен-

нях  $\frac{m_2}{c_3}$  можна одержати достатньо широку об-

ласть частот навантаження  $\omega_1 < \omega < \omega_2$ , в якій величина похибки вимірювань  $E$  буде незначною. Так для розробленого пристрою в діапазоні частот навантаження 25 - 260 Гц маємо /фіг.3.а/  $E \leq 0,07$ .

Де дозволяє зняти динамічні частотні характеристики системи /ролик - ВР - ролик/ з приведеними масами роликів:

$$M_1 = m_1,$$

$$M_2 = (m_1 + m_3).$$

Наведені розрахунки справедливі лише у випадку, якщо виникаючий в механічній частині: системи коливальний процес несуттєво впливає на величину збурюючої сили. Цього можна досягти використанням діапазону частот навантаження, в якому максимальна потужність збудника коливань в багато разів більша величин потужності, необхідної для збудження вибуху, у зв'язку з цією обставиною на фіг.3, б схематично наведено співвідношення максимальних зусиль  $P_{\text{max}}$  які спроможний розвивати електродинамічний перетворювач в діапазоні частот  $\omega_1 < \omega < \omega_2$ , і максимальних зусиль  $P_{d \text{ max}}$ , необхідних для збудження вибуху.

На підставі проведеного аналізу встановлена можливість застосування запропонованого способу для визначення динамічних характеристик системи /ролик - ВР - ролик/ в діапазоні частот навантаження 25 - 260 Гц.

Типові осцилограми випробувань ВР на чутливість до циклічних навантажень різних частот мають вигляд, наведений на фіг.4. Вибухи збуджуються в момент часу  $t_0$  нормальним динамічним навантаженням з амплітудою  $P_d$ . Осцилограми засвідчують, ще /завдяки ефекту вібропресування/

коливання вибухової речовини до моменту вибуху мають, головним чином, пружний характер.

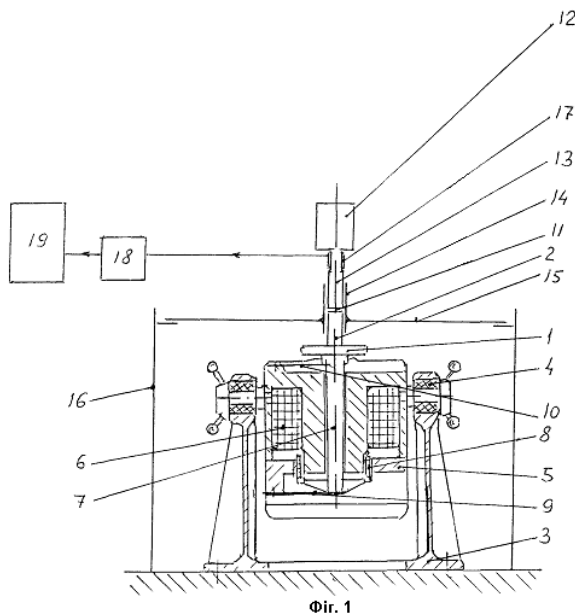
Типова динамічна частотна характеристика системи /ролик - ВР - ролик/ показана на фіг.5 сплошною лінією. Поле вибухів заштриховано, а його межі позначені пунктиром.

Випадок, наведений на фіг.4,а відповідає частоті навантаження  $\omega_1$ , на фіг.4,б - частоті  $\omega_B$ , а на фіг.4,в - частоті  $\omega_2$ .

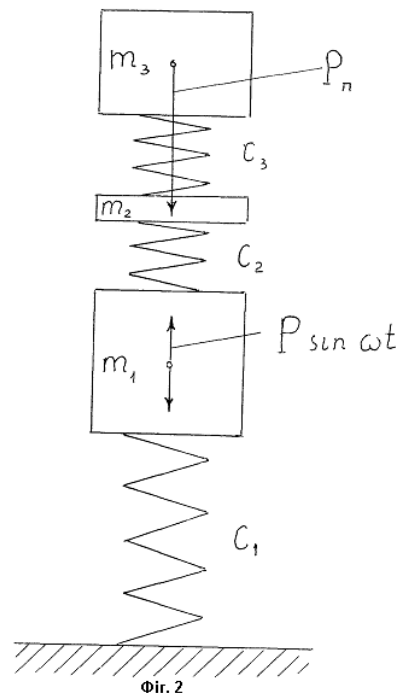
Відомо, що вибух відбувається лише при достатньо великих напругах зсуву в ВР /при стендових випробуваннях - у площині торців роликів/. При нормальних вимушених коливаннях вибухової речовини неминуче виникають її тангенціальні коливання, які і зумовлюють вибух. Коли частота циклічного навантаження ВР  $\omega$  наближається до частоти  $\omega_B$  власних зсувних коливань системи /ролик - ВР - ролик/, деформація зсуву ВР різко зростає - настає явище резонансу. На динамічній частотній характеристиці системи /ролик - ВР - ролик/ частоту  $\omega_B$  можна визначити де мінімальній величині амплітуди нормального динамічного навантаження  $P_d$ , котре збуджує вибух.

По частоті власних зсувних коливань системи /ролик - ВР - ролик/

$$\omega_B = \sqrt{\frac{C(M_1 + M_2)}{M_1 \cdot M_2}}$$



Фиг. 1



Фиг. 2

можна вирахувати динамічну тангенціальну жорсткість вибухової речовини  $C$ .

Знайдена у запропонований спосіб величина  $C$  дозволяє обчислювати найбільш небезпечні частоти вимушених коливань зарядів вибухових речовин та технологічного устаткування для обробки ВР. Виявлені загрозливі частоти навантаження ВР дозволяють оцінити реальну небезпеку виникнення вибух та розробити заходи щодо запобігання явища резонансу в вибухових речовинах.

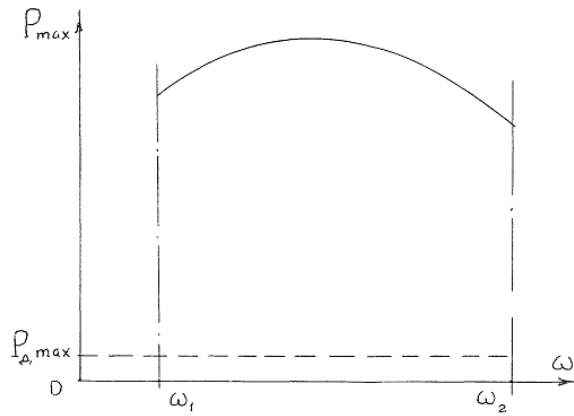
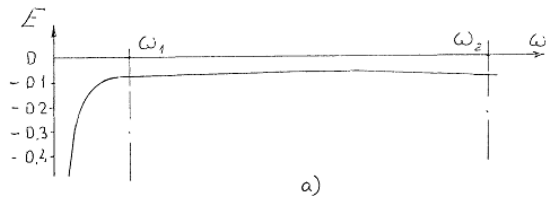
З іншого боку, за допомогою даного способу розкрито механізм використання вимушених коливань з частотами  $\omega \approx \omega_B$  для ініціювання зарядів вибухових речовин зі зниженою чутливістю.

Джерела інформації:

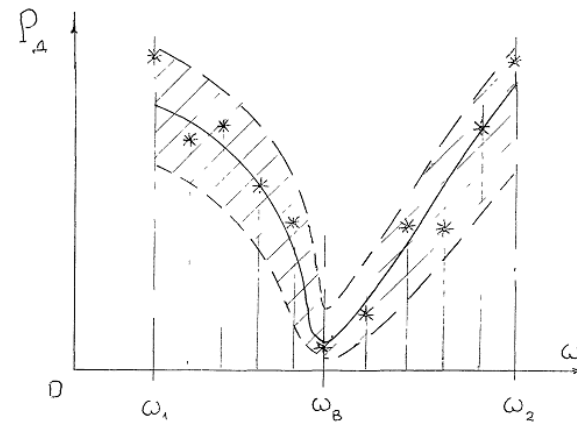
1. Теория взрывчатых веществ, сборник статей вед рея. К.К. Андреева, А.Ф.Беляева, А.И.Годьбиндера, А.Г.Горста. М., Оборонгиз, 1963, с. 97, фиг. 2. Устройство для измерения: давления во времени при ударе на копре.

2. Горст А.Г. Пороха и взрывчатые вещества. М., Машиностроение, 1972, с.43, рис.10. Узел прибора Боудена -Козлова для определения чувствительности ВВ к трению.

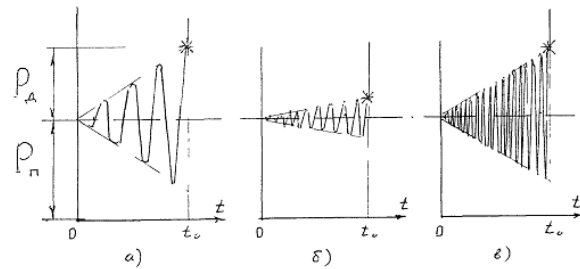
3. ГОСТ 4545 - 88. Вещества взрывчатые бризантные. Методы определения характеристик чувствительности к удару.



б)  
Фиг. 3



в)  
Фиг. 5



Фиг. 4